

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-260913

(43)公開日 平成7年(1995)10月13日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 1 R 33/18

33/12

識別記号

庁内整理番号

8203-2G

Z 8203-2G

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 4 F D (全 16 頁)

(21)出願番号 特願平6-76528

(22)出願日 平成6年(1994)3月23日

(71)出願人 000000181

岩崎通信機株式会社

東京都杉並区久我山1丁目7番41号

(72)発明者 坪井 淨

東京都杉並区久我山1丁目7番41号 岩崎

通信機株式会社内

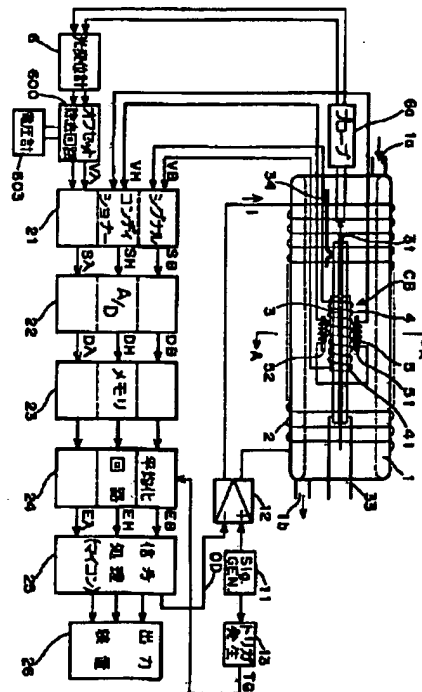
(74)代理人 弁理士 佐藤 正美

(54)【発明の名称】 磁気特性測定装置及び磁気ひずみ測定装置

(57)【要約】

【目的】 高精細に磁気特性の測定を行える磁気特性測定装置を提供する。

【構成】 円筒状に巻回される磁界発生用のコイル2の内部空間に磁性体試料3を配置し、コイル2に正弦波状電流を流して正弦波状交番磁界を発生させ、その交番磁界により磁性体試料3に発生する磁気ひずみを、変位計6を用いて直接的に測定する。磁界空間内に磁界検出用コイル5を設け、このコイル5に誘起される電圧の平均値を求め、その平均値をオフセットとして磁界発生用コイル2に印加する電圧から除去する。これにより、オフセットのない無歪みの正弦波状磁界を発生し、正確な磁気特性を測定する。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 円筒状に導体の線材が巻回されて構成される磁界発生用の第1のコイルと、

この第1のコイルの内部空間に交番磁界を生じさせるために、この第1のコイルに供給する交番信号を発生する交番信号発生器と、

上記第1のコイルの内部空間内に、磁性体試料を配置するための試料保持部材と、

上記試料の近傍に配置され、上記第1のコイルによる発生磁界を検出するための第2のコイルと、

上記第2のコイルに得られる誘起電圧の平均値を求める平均値算出手段と、

上記交番信号発生器と上記第1のコイルとの間に設けられ、上記平均値算出手段からの平均値出力を上記交番信号からオフセットとして除去するオフセット除去手段とを備える磁気特性測定装置。

【請求項2】 円筒状に導体の線材が巻回されて構成される磁界発生用の第1のコイルと、

この第1のコイルの内部空間に交番磁界を生じさせるために、この第1のコイルに供給する交番信号を発生する交番信号発生器と、

上記第1のコイルの内部空間内に、磁性体試料を配置するための試料保持部材と、

上記試料の近傍に配置され、上記第1のコイルによる発生磁界を検出するための第2のコイルと、

上記試料の部分の磁束密度を検出するための第3のコイルと、

上記第3のコイルに得られる誘起電圧に基づいて上記第2のコイルの誘起電圧を補正する補正手段と、

上記補正手段からの上記第2のコイルの誘起電圧の平均値を求める平均値算出手段と、

上記交番信号発生器と上記第1のコイルとの間に設けられ、上記平均値算出手段からの平均値出力を上記交番信号からオフセットとして除去するオフセット除去手段とを備える磁気特性測定装置。

【請求項3】 円筒状に導体の線材が巻回されて構成される磁界発生用の第1のコイルと、

この第1のコイルの内部空間に交番磁界を生じさせるために、この第1のコイルに供給する交番信号を発生する交番信号発生器と、

上記第1のコイルの内部空間内に、磁性体試料を配置するための試料保持部材と、

上記試料の近傍に配置され、上記第1のコイルによる発生磁界を検出するための第2のコイルと、

上記第2のコイルに得られる誘起電圧の平均値を求める平均値算出手段と、

上記交番信号発生器と上記第1のコイルとの間に設けられ、上記平均値算出手段からの平均値出力を上記交番信号からオフセットとして除去するオフセット除去手段と、

2

上記磁性体試料の磁気ひずみによる変位を求める磁気ひずみ検出手段とを備え、

上記第2のコイルに得られる上記誘起電圧出力と、上記磁気ひずみ検出手段の出力信号とから、上記磁性体試料の近傍の磁気特性と、その磁気特性条件下で上記磁性体試料に生じる磁気ひずみの量との関係を求めるようにした磁気ひずみ測定装置。

【請求項4】 円筒状に導体の線材が巻回されて構成される磁界発生用の第1のコイルと、

この第1のコイルの内部空間に交番磁界を生じさせるために、この第1のコイルに供給する交番信号を発生する交番信号発生器と、

磁性体試料を挟んで保持する1対の非磁性体板を備え、上記磁性体試料の挟持された面の方向が、上記第1のコイルの巻回方向と一致する状態で、上記磁界発生用の第1のコイルにより囲まれる空間内のほぼ中央部であって、かつ、上記第1のコイルの巻回方向のほぼ中央部に、上記磁性体試料を配置するための試料保持部材と、上記試料の近傍の磁気特性を検出するために、上記1対の非磁性体板の上記試料を挟持する部分の周囲において、上記試料保持部材に対して固定される第2のコイルと、

上記第2のコイルに得られる上記交番磁界に応じた誘起電圧の平均値を求める平均値算出手段と、

上記交番信号発生器と上記第1のコイルとの間に設けられ、上記平均値算出手段からの平均値出力を上記交番信号からオフセットとして除去するオフセット除去手段と、

上記試料保持部材の1対の非磁性体板間の上記磁性体試料の端面あるいはこの端面に取り付けられた反射板に光ビームを照射し、その反射光から、上記磁性体試料の上記端面の変位を検出する光変位計とを備え、

上記第2のコイルに得られる誘起電圧出力と、上記光変位計の出力信号とから、上記磁性体試料の近傍の磁気特性と、その磁気特性条件下で上記磁性体試料に生じる磁気ひずみの量との関係を求めるようにした磁気ひずみ測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、円筒状に導体の線材を巻回して構成する磁界発生用コイルを用いた磁気特性測定装置及びこれを用いた磁気ひずみ測定装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 鉄、鋼などの磁性体は、定常状態では、その最小磁石である針状磁区は不規則に配列されていて、磁性を示さないが、この磁性体が磁界に置かれると、針状磁区が磁界の方向に沿って整列することにより磁性体が磁化されて磁石になる。このとき、磁性体には、磁気ひずみが生じることが知られている。したがっ

て、磁性体が交番磁界に置かれると、磁気ひずみのため、磁性体が振動をすることになる。この磁性体の磁気ひずみによる振動は、次のようにして生じると考えられている。

【0003】磁性体の磁化は、これが置かれる磁界の方向に応じて変わる。このため、磁性体を、図18Aに示すような交番磁界中に置くと、この交番磁界の繰り返し周波数の2倍の繰り返しで、磁性体の磁化の方向が反転する。この磁化の方向の反転の際、それぞれ針状磁区101は、図18Bに示すようにして回転して、その磁極を反転する。

【0004】図18Bから理解されるように、この針状磁区の反転に伴い、針状磁区が横位置のときと、縦位置のときが生じるが、針状磁区は、磁性体の最小組織（結晶）と考えられるので、これらの位置変化により、磁性体にひずみが生じると考えられる。磁区の回転は、磁界が交番することにより生じるので、交番磁界に置かれた磁性体の磁気ひずみは、交番磁界の繰り返し周波数の2倍の周波数を基本とする振動ひずみとなる。

【0005】従来、この磁性体の磁気ひずみを測定する方法としては、次のような方法が用いられていた。すなわち、この方法は、図19に示すように、磁性体を扁平薄型にして作成した試料102の表面に、傾斜を持たせた鏡103を貼り、この鏡付きの試料を、円筒状に導体線材を巻回したコイル（ソレノイドコイル）107の内部空間内の置く。そして、このコイル107の両端間には、交番信号発生器108からの正弦波状交番電圧をアンプ109を介して供給する。これにより、コイル107には、正弦波状交番電流が流れ、コイル107の円柱状内部空間内には、ソレノイドコイルの中心線方向であって、図示の方向及びその逆方向の交番磁界が生じる。

【0006】この状態で、試料102に張り付けられている鏡103に対して光源104から光ビーム105を照射し、その反射光を受光部106で受光して、試料102の磁気ひずみ振動の大きさを測定する。その測定原理は、図19に示すように、試料102に貼着された鏡103にビーム105が入射したとき、その反射光は、磁気ひずみ量に応じた広がり角 $\theta$ を有することを利用するものである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述の磁気ひずみのような磁性体試料の特性を測定する場合、その測定がどのような磁気条件でなされたかを考慮する必要がある。例えば、磁気ひずみは、磁界-磁気ひずみ特性、あるいは磁束密度-磁気ひずみ特性として測定する。また、磁性体試料自身の透磁率やヒステリシス特性などの磁気特性性を合わせて測定するようにするのが一般的である。

【0008】このため、測定時に磁性体試料に印加され

ている磁界及び磁束密度を検知する必要がある。磁界は、アンプ109の出力電圧を抵抗により電流変換することにより、コイル107に流れる電流を検知して求めることもできるが、試料の近傍の空間の磁界をより正確に検出するには、磁性体試料近傍の空間において、磁束 $\phi$ に鎖交する断面を有するコア（空芯も含む）にコイルを巻回して、この磁界検出用コイルに誘起される起電力から検知するようにする方がよい。また、磁性体試料102の部分の磁束密度を知るためには、磁性体試料102を、その巻回空間に含むようにソレノイド状に巻回したコイルを設け、そのコイルに誘起される起電力から検知することができる。

【0009】ところが、このように、磁界検出用コイルを設けて、その誘起起電力から磁界を検出する場合に、得られた磁界は正弦波状交番信号にならず、検出した磁束密度を縦軸に取り、磁界を横軸に取って作成するとヒステリシスループが縦軸及び横軸を対称軸として対称にはならないことを、この発明の発明者は発見した。

【0010】発明者は、その理由を追及したところ、コイル107に供給される界磁電流が、正しく正弦波状交番電流になっておらず、ひずみを有し、このため、直流オフセットが界磁電流に含まれていることを突き止めた。このようにコイル107に供給される界磁電流が、正しく正弦波状交番電流になっていない時には、磁気ひずみの測定などの磁気的な測定を正確に行うことができないものである。

【0011】この問題を解決するには、交番信号発生器108からひずみのない正弦波状交番信号を得ればよいが、交番信号発生器108からこのような信号を得ることは一般に困難である。また、仮に正確な正弦波状交番信号を交番信号発生器108から得ることができたとしても、その後段のアンプ109を無歪みアンプの構成とすることは困難であり、コイル107に無歪みの正弦波状交番電流を流すことは非常に困難である。

【0012】この発明は、以上の欠点を除去した磁気特性測定装置を提供することを第1の目的とする。

【0013】また、この発明は、第1の目的を達成した磁気特性測定装置を用いて、従来よりさらに小さい磁気ひずみを正確に測定できるようにする磁気ひずみ測定装置を提供することを第2の目的とする。

【0014】すなわち、磁性体の磁気ひずみによる振動は、モータや変圧器において、うなり音となって現れたりして、種々の不都合を生じる。このため、できるだけ、この磁気ひずみが小さい材料が望まれており、その開発が進んでいる。そして、最近では、磁気ひずみの量が、1m当たり、 $10^{-7} \sim 10^{-9}$ m程度にまで、押さえられた材料の誕生の可能性が出てきている。

【0015】ところで、磁性体材料のこのような磁気ひずみの小ささは、その磁気ひずみの大きさを測定することにより確認しなければならない。そのためには、その

ような極く小さい磁気ひずみの測定ができなければならない。しかしながら、従来の装置では、磁性体試料の1 m当たりについて、最小、 $10^{-7}$  m程度までの磁気ひずみの測定は可能であるが、それより、小さい磁気ひずみは正確に測定することができなかった。

【0016】また、試料102に張り付けた鏡103からの光の反射を受光する方式であるため、試料102は、しっかりと固定することが困難である。このため、例えば偏平薄型に切り出した試料の偏平面方向の磁気ひずみを測定しようとする場合に、試料の厚み方向の磁気ひずみの影響を受けて、試料が横ゆれなどを生じてしまい、小さい磁気ひずみの測定を不能にしている。

【0017】しかも、試料102をしっかりと固定しない状態で試料102に鏡103を張り付けるため、試料102に生じる磁気ひずみに、張り付けられた鏡103の分の影響が生じ、これも正確な、より小さい磁気ひずみを測定するための支障となっていた。

【0018】さらには、図19に示す従来例の場合、試料102の張り付けた鏡103に、コイル107の外部にある光源104からの光を照射し、その反射光を、コイル107の外部に設けられる受光素子106で受光するようにしなければならないため、コイル107には、試料102の近傍において、線材を巻回せずに光を導くための空間を設けなければならない。このため、コイル107の巻回方向に生じる交番磁界が、試料102の近傍で不均一となり、正確な磁気ひずみを測定するために重要となる試料近傍の磁気特性環境を所期のものとなるように整えることが困難であった。

【0019】以上のように、この発明は、上記第1の目的を達成して、試料近傍の交番磁界のひずみを除去すると共に、磁性体試料の磁気ひずみによる変位を、直接的に測定することができるようにすることにより、従来よりさらに小さい磁気ひずみを正確に測定できるようにする磁気ひずみ測定装置を提供することを第2の目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】この発明による磁気特性測定装置は、後述の実施例の参照符号を対応させると、円筒状に導体の線材が巻回されて構成される磁界発生用の第1のコイルと、この第1のコイルの内部空間に交番磁界を生じさせるために、この第1のコイルに供給する交番信号を発生する交番信号発生器と、上記第1のコイルの内部空間内に、磁性体試料を配置するための試料保持部材と、上記試料の近傍に配置され、上記第1のコイルによる発生磁界を検出するための第2のコイルと、上記第2のコイルに得られる誘起電圧の平均値を求める平均値算出手段と、上記交番信号発生器と上記第1のコイルとの間に設けられ、上記平均値算出手段からの平均値出力を上記交番信号からオフセットとして除去するオフセット除去手段とを備えることを特徴とする。

【0021】また、この発明による上記ひずみ測定装置は、円筒状に導体の線材が巻回されて構成される磁界発生用の第1のコイルと、この第1のコイルの内部空間に交番磁界を生じさせるために、この第1のコイルに供給する交番信号を発生する交番信号発生器と、磁性体試料を挟んで保持する1対の非磁性体板を備え、上記磁性体試料の挟持された面の方向が、上記第1のコイルの巻回方向と一致する状態で、上記磁界発生用の第1のコイルにより囲まれる空間内のほぼ中央部であって、かつ、上記第1のコイルの巻回方向のほぼ中央部に、上記磁性体試料を配置するための試料保持部材と、上記試料の近傍の磁気特性を検出するために、上記1対の非磁性体板の上記試料を挟持する部分の周囲において、上記試料保持部材に対して固定される第2のコイルと、上記第2のコイルに得られる誘起電圧の平均値を求める平均値算出手段と、上記交番信号発生器と上記第1のコイルとの間に設けられ、上記平均値算出手段からの平均値出力を上記交番信号からオフセットとして除去するオフセット除去手段と、上記試料保持部材の1対の非磁性体板間の上記磁性体試料の端面あるいはこの端面に取り付けられた反射板に光ビームを照射し、その反射光から、上記磁性体試料の上記端面の変位を検出する光変位計とを備え、上記第2のコイルに得られる誘起電圧出力と、上記光変位計の出力信号とから、上記磁性体試料の近傍の磁気特性と、その磁気特性条件下で上記磁性体試料に生じる磁気ひずみの量との関係を求めるようにしたことを特徴とする。

【0022】

【作用】上記の構成のこの発明の磁気特性測定装置においては、第2のコイルの誘起起電力（電圧）の平均値が求められ、直流オフセットが検知される。そして、この直流オフセットが、オフセット除去回路において、第1のコイルの両端に印加される電圧から除去される。この結果、第1のコイルに印加される交番電流は、その直流オフセットによる歪み分が除去されるようになり、第2のコイルに誘起される電圧は、直流オフセットのない電圧となるように収束する。したがって、磁気特性を正確に測定することが可能になる。

【0023】また、上記の構成のこの発明の磁気ひずみ測定装置においては、以上のようにして、磁性体試料に印加される磁界は補正されてひずみが軽減されているから、より正確な磁気特性条件下において、磁気ひずみ測定が行われ、従来よりもさらに精細な磁気ひずみの測定が行われる。

【0024】その上、この発明による磁気ひずみ測定装置においては、磁性体試料3は、1対の非磁性体板31、32により挟持され、その方向の変位が制限された状態で、第1のコイル2内の交番磁界が生じる空間内に配置される。交番磁界により、磁性体試料3は、1対の非磁性体板31、32により挟持された面の方向、つま

り第1のコイル2の巻回方向に磁気ひずみによる変位を生じ、その端面は、その磁気ひずみによる変位に応じた振動を呈する。

【0025】光変位計6は、第1のコイル2の巻回方向の空間から、試料3の端面または反射板3tに光ビームを照射し、その反射光を利用して、試料3の端面の振動変位量に応じた出力信号を得る。したがって、この発明においては、磁性体試料3の磁気ひずみのみを正確に測定することができ、精細に磁気ひずみの測定が行われる。

【0026】

【実施例】以下、この発明の一実施例を、図を参照しながら説明する。図1は、磁気ひずみ測定装置の実施例の機構部の機械的構成及び信号処理系の全体を示している。この図1に示した磁気ひずみ測定装置の機構部の機械的構成は、原理的構成を示しており、その詳細な構成例は、図2に示す通りである。図2Aは、この例の測定装置の機構部の平面図（一部は、断面として示してある）、図2Bは、この例の測定装置の機構部の側面図（一部は、断面として示してある）である。

【0027】まず、図1において、1は中空円筒の二重ガラス管である。このガラス管1は、同心円筒状のガラス壁がその管軸方向の端部において連結された形状を有している。このガラス管1の外周には、その管軸方向の両端部を除く部分において、交番磁界発生用のコイル2が、ソレノイドコイル状に巻回される。そして、ガラス管1内の円柱状空間内のほぼ中央位置には、磁性体試料3が置かれる。

【0028】ところで、従来、上述のような磁気ひずみ測定装置においては、交番磁界を発生させるコイル2は、磁性体試料3が収容される空間内に、コイル巻回方向に平行な磁束を発生させるようにすることが、印加磁束と磁気ひずみとの関係を正確に測定するために重要である。

【0029】しかしながら、ソレノイドコイルの場合、図19に示したように、その内部空間のコイル巻回方向の中央部では、磁束は平行になっているが、コイル両端近傍においては、反磁界の影響を受けるため、図示のように、曲線状になってしまい、平行磁束にならない。

【0030】このため、従来は、磁界発生用のソレノイドコイルの巻回方向の長さを、磁性体試料の長さに対して十分に長くして、磁性体試料の部分では、磁束は、すべて平行磁束になるようにしている。しかし、このように、磁界発生用のコイルの巻回方向の長さを長くすると、磁気ひずみ測定装置が大型化してしまう問題がある。

【0031】ところで、磁界発生用の円筒状コイルの両端付近の磁束の流れを調査すると、磁束が描く曲線は、指数関数曲線的に変化することが分かった。そこで、この例の磁界発生用のコイル2は、図3に示すように、多

層巻きとされ、コイル巻回方向の単位長さ当たりの巻き数が、コイルの巻回方向の中心から、巻回方向の両端部に近づくにしたがってほぼ指数関数（エクスポネンシャル）曲線的に増加するように構成されている。なお、コイルの巻回方向の中心付近では、コイル巻回方向の単位長さ当たりの巻き数は均一でもよい。

【0032】これにより、コイル2に交番電流を流した時に発生するガラス管1内の管軸方向の磁束は、ガラス管1の管軸方向の一方の端部から他方の端部にまで渡ってほぼ平行にすることができる。つまり、コイル2の両端部においても、反磁界の影響を軽減してほぼ平行磁束とすることができる。

【0033】そして、この例の場合、試料3は、偏平矩形の薄片状とされ、厚さ、幅、長さが予め求められている。この試料3は、その板面方向がガラス管1の管軸方向と一致する状態で、後述する試料保持手段30により保持されて、ガラス管1内に置かれる。

【0034】交番磁界発生用のコイル2の両端間には、交番信号発生器11からの正弦波状交番電圧がアンプ12を介して供給される。これにより、コイル2には、交番電流1が流れ、ガラス管1内の円柱状空間内に管軸方向の交番磁界が生じる。この場合、アンプ12は差動アンプであり、交番信号発生器11からの正弦波状交番電圧は、その一方の入力端子に供給される。そして、アンプ12の他方の入力端子には、後述するオフセット電圧ODが供給されて、一方の入力端子に供給される正弦波状交番電圧の直流オフセットが除去されるようになる。

【0035】ところで、コイル2には、比較的大きな電流1を流すために、発熱が生じる。そこで、この例の装置においては、ガラス管1の2重壁内に冷却水を流すことにより、過度の発熱を防止するようにしている。

【0036】この冷却水を流す構成にするため、ガラス管1には、その管軸方向の一端側の一部から突出するように、開口部1aが設けられると共に、管軸方向の他端側の、前記開口部1aの位置に対して180度角間隔隔てた位置にも、その部分から突出するように開口部1bが設けられている。そして、このガラス管1は、図示のように、開口部1aが上方、開口部1bが下方になる状態で横位置に置かれ、開口部1aから冷却水が注入される。冷却水は、ガラス管1内のすべての部分を巡って開口部1bから排水される。

【0037】ところで、試料3の磁気ひずみを測定する場合、この試料3の近傍の磁界あるいは試料3を通る磁束（磁束密度）を知り、その磁束あるいは磁界の磁気特性条件下において発生する磁気ひずみとして測定する必要がある。そこで、試料3の近傍の磁気特性を測定するため、コイルブロックCBが設けられる。

【0038】このコイルブロックCBは、この例では、後述するように、試料3を通る磁束を測定するためのさぐりコイル4と、試料3のできるだけ近傍の磁界を測定

するための補正コイル5とからなる。詳細な構成は、後述する。

【0039】以上の構成において、コイル2に交番電流1を流すと、ガラス管1の管軸方向に交番磁界が誘起され、この交番磁界により、磁性体試料3には、前述したように、電流1の周波数の2倍の周波数で振動する磁気ひずみが生じる。この場合、試料3は、偏平矩形の薄い板であるので、この磁気ひずみは、板面方向（管軸方向）の伸び縮みとして現れる。すなわち、試料3の厚み部分の端面は、管軸方向に、試料3の伸び縮みに応じて振動変位する。

【0040】この例においては、試料3の前記端面の変位を光変位計を用いて測定することにより、試料3の磁気ひずみを直接的に測定する。光を用いて変位を測定するので、電磁気的影響がほとんどない。この例においては、変位を容易にピックアップできるように、試料3の端面には微小な反射板3tが取り付けられている。この反射板3tは、例えばチタンからなり、試料3の変位に対する影響が小さい薄い板状のものであって、鏡面仕上げされて構成されている。

【0041】図1において、6は光変位計を示し、6aはその光プローブである。光プローブ6aは、非磁性体で構成されている。この例の光変位計6は、プローブ6aから光ビーム7を出射すると共に、反射光をこのプローブ6aで受光して得る。プローブ6aから出射された光ビームは、この例では試料3の端面の反射板3tに照射される。光変位計6は、その反射板3tからの反射光をプローブ6aを介して受光して、その反射板3tの変位を電圧変化に変換して出力信号V<sub>λ</sub>として得る。

【0042】次に、図2～図5をも参照して、以上説明した機構部分のさらに詳細な構成について説明する。なお、図4は、図1のA-A断面図、図5は機構部の中央部の拡大断面図である。

【0043】図2に示すように、ガラス管1の外側は、ペークライト製の円筒状の筐体7に覆われている。この筐体7は、ベース部材8に固定されている。ガラス管1の冷却水の出入口1a、1bは、筐体7の外側に導出されている。また、筐体7の管軸方向の両端部には、試料3の出入りのためと、コイルブロックCBからのコイル線材の端部を導出するためと、光変位計6のプローブ6aを挿入するために、開口部が設けられている。

【0044】磁性体試料3は、試料保持部材30により保持される。すなわち、図2及び図5に示すように、この例の場合、磁性体試料3は、細長い偏平薄板状とされており、同様に細長い薄板状に構成された1対の非磁性体板31及び32により挟まれて保持される。この非磁性体板31及び32は、磁性体試料3を確実に保持できるように、できるだけ重量の重い方がよく、この例では、アルミナ磁器が用いられている。

【0045】この例の場合、非磁性体板31、32の寸

法は、それぞれ、例えば、厚さ×幅×長さ＝2 (mm) × 31 (mm) × 277 (mm) とされている。また、試料3の寸法は、例えば、厚さ×幅×長さ＝1 (mm) × 30 (mm) × 280 (mm) とされている。つまり、試料3は、非磁性体板31、32より若干長く、その分がプローブ6a側に突き出すようになされており、その突き出した部分の端面が磁気ひずみにより変位する。このため、この端面に反射板3tが取り付けられる。

【0046】さらに、コイル2の巻回方向の長さは、約390mmとされ、ガラス管1の外径は、40mm、長さは400mmとされている。また、コイル2の線材の太さは、例えば直径が0.5mmとされ、巻き数は、全体で1500～2000回とされている。

【0047】対の非磁性体板31、32の長さ方向の一端側は、保持アーム33により固定される。この場合、保持アーム33は、非磁性体板31、32を、試料3を挟んだ状態で、例えば振子などにより固定する。対の非磁性体板31、32の長さ方向の、反射板3tが取り付けられる他端側は固定されず、測定状態においては、筐体7あるいはベース8に固定されている保持台34の上に載置される。振子を緩めて、保持アーム33による対の非磁性体板31、32の固定保持を解除し、試料3の交換ができる。

【0048】保持アーム33は、試料3をガラス管1の外に出して、交換等するために、保持アーム受け台35に対して、ガラス管1の管軸方向に沿って水平方向に摺動自在に係合されている。保持アーム33と、保持アーム受け台35との摺動は、非常に軽快に行えるようにされており、摺動後は、振子などにより、保持アーム33が受け台35に固定される。

【0049】保持アーム受け台35は、重量の大きい部材で構成され、この例ではステンレス製とされている。そして、水平方向の移動距離をより大きくするため、保持アーム受け台35も、ベース8に対して、保持アーム33と同じ方向に摺動自在に取り付けられており、振子などにより固定できるように構成されている。取っ手36は、保持アーム受け台35の摺動を行う時に使用される。

【0050】この場合、非磁性体板31、32による挟持状態では、磁性体試料3は、その板面方向（ガラス管1の管軸方向）には磁気ひずみによる伸縮が自在となる。しかし、非磁性体板31、32により挟持されているため、磁性体試料3の厚み方向には、その伸縮が制限されるようにされている。

【0051】次に、コイルブロックCBの構成について説明する。さぐりコイル4は、試料3を流れる磁束変化 ( $d\phi/dt$ ; tは時間) を検出するためのコイルであって、このコイル4に誘起される電圧から磁束密度Bを求めるものである。このさぐりコイル4は、ガラス管1

の距離変化とが直線性を有する状態の位置となるように調整すると共に、光変位計6の直流オフセット除去を行う。

【0065】光変位計6は、一般に、光を照射させたときの、反射光の強度変化から光照射された部位の変位を測定するものである。反射光の強度は、光変位計6のプロープ6aと測定対象部位との距離の自乗に反比例するが、変位の測定を正確に行うためには、光変位計6の光電変換出力特性として、直線性が良好な部分を使用する必要がある。

【0066】すなわち、図7Aに示すように、試料3の変位（伸び、縮み）を測定するときに、光変位計6の光プロープ6aの先端部と試料3の測定端面との間の距離に対する光変位計の出力（静的な出力電圧SE）は、一般に図7Aの曲線aに示すようなものとなる。

【0067】この図7Aに示すように、光変位計6の静的な出力電圧SEは、プロープ6aの先端が試料3の測定端面（当該端面に反射板が取り付けられている場合には、その反射板）に接した時点で0ボルトとなり、プロープ6aの先端が試料端面から離れるにしたがって増大し、最大100ボルトに達する。ここまです前縁という。さらにプロープ6aの先端が試料端面から遠ざかると減少し、0ボルトに戻る。この暫時に下がる区間を後縁という。

【0068】この例の場合、0ボルトから100ボルトというように、非常に大きい範囲の静的出力電圧を得るような光変位計を用いなければならないのは、この程度の静的直流電圧範囲にしないと、非常に微小な磁気ひずみを光変位計6の出力として検出できないからである。

【0069】この光変位計6の静的出力電圧SEにおいて、試料の変位を測定するのに最適な直線性を保持できる領域は、電圧値で40～60ボルト程度の範囲であり、光変位計6のプロープ6aの先端と試料3の端面、この例では端面の反射板3tとの距離が、この直線性の良い部分となるように調整される。光変位計6の出力として使用する直線性が良好となる部分は、前縁と後縁のどちらを用いてもよい。

【0070】光変位計6の出力は、この直線性の良い部分の直流電圧（例えば50ボルト）に、図7Aで曲線bの振動波形として示す磁気ひずみによる交流的变化分が重畳されるものとなる。光変位計6の出力は、（直流分+変化分）＝（約50ボルト±変化分の電圧）となるため、試料の伸び、縮みの変位振動が微小で、光変位計6の出力としての変化が例えば数百mボルトと小さいと、上記の直流分のために変化分の測定が困難になる。

【0071】この場合の直流分はオフセット電圧と呼ばれ、この発明の磁気ひずみ測定装置のような微小な変位を測定する場合には、測定の支障となるので、この直流オフセット電圧は除去する必要がある。

【0072】光変位計6の上記の位置調整と、オフセッ

ト調整のために、この例においては、光変位計6は、図2に示すように、摺動移動部材60に取り付けられている。摺動移動部材60は、マイクロメータ61を備え、このマイクロメータ61を調整することにより、そのメータに示される距離だけ、プロープ6aの先端が、ガラス管1の管軸方向に摺動移動できるように構成されている。

【0073】また、この例においては、図1に示すように、光変位計6の出力側には、オフセット除去回路600が設けられている。このオフセット除去回路600の一実施例を、図8に示す。

【0074】すなわち、この例では、光変位計6の直流オフセット電圧を含む出力は、直流オフセット電圧除去用の減算回路を構成する差動アンプ601の正側入力端子（非反転入力端子）に入力される。また、この差動アンプ601の負側入力端子（反転入力端子）にオフセット電圧発生器としてのアナログ直流信号発生器605からのオフセット電圧が供給されて、正側入力端子に入力された信号から減算される。この結果、差動アンプ601の出力として、変位計6の光電変換出力から直流オフセット電圧が除去された出力信号V<sub>λ</sub>（図7Aの波形c参照）が得られる。

【0075】アナログ直流電圧発生器605からのオフセット電圧は、次のようにして設定される。すなわち、差動アンプ601の出力に対して直流電圧弁別回路602が設けられ、この弁別回路602で、減算回路601の出力中の直流電圧が弁別される。弁別された電圧の値は、電圧計603によって表示される。そして、直流電圧弁別回路602で弁別された直流電圧は、スイッチ604を介してアナログ直流信号発生器605に供給される。このアナログ直流信号発生器605からは、弁別された直流電圧と等しい直流電圧がオフセット電圧として出力され、差動アンプ601の負側入力端子に供給される。

【0076】このスイッチ604は、光変位計6を、出力の上記前縁の部分で使用するか、上記後縁の部分で使用するかを定めるときは、減算回路601の出力端から負側入力端までのループを「断」としておく必要があるからである。

【0077】以上のようなオフセット除去回路600を用いてオフセット設定及び除去をしながら、出力の直線性の良い位置になるように、光変位計6の位置を、マイクロメータ61を用いて調整する。この例の場合には、図7Aに示すように、距離変位に対して出力変位が大きい前縁の直線性の良い部分を使用する。

【0078】すなわち、実際の測定に先立ち、マイクロメータ61を操作して、プロープ6aの先端を、試料3の端面の反射板3tに近付けてゆく。電圧計603で減算回路601の出力電圧をチェックすると、光変位計6の光電変換出力電圧は、次第に上昇し、最大に達する。

17

ズ除去された各出力E<sub>λ</sub>、E<sub>B</sub>、E<sub>H</sub>は、マイコンで構成される信号処理回路25に供給され、試料3の近傍の空間の磁界H、試料3の部分の磁束密度B、これら磁界H及びBの条件下における試料3の磁気ひずみ入が求められる。

【0094】すなわち、コイル5の誘起起電力から得られる平均化電圧E<sub>H</sub>は、コア51、52が占める空間部分の磁束の変化( $d\phi/dt$ : tは時間)に応じたものであり、これを積分することによりコア51、52が占める空間部分を通る磁束φが求められる。コア51、52の部分の断面積は、既知であるので、この磁束φから、試料3の近傍の空間の磁束密度B<sub>a</sub>が求められ、さらに、空間の透磁率は約1であるので、 $H \approx B_a$ となり、試料3の近傍の磁界Hが求められる。

【0095】また、出力E<sub>B</sub>から試料3を通る磁束が求められ、試料3の断面積から試料3の部分の磁束密度Bが求められる。すなわち、出力E<sub>B</sub>は、ボビン41内の空間部分を通る磁束の変化と考えることができる。ボビン41内の磁束は、試料3の透磁率が非常に大きいので、試料3の部分(断面積は既知)にほぼ集中する。試料3の断面積は、既知であるから、試料3の部分の磁束密度Bを求めることができる。また、磁界Hと、この磁束密度Bとから、試料3の透磁率μを求めることができる。

【0096】図10は、この信号処理回路25の演算処理の流れを機能ブロックで表現した図である。以下、この図10を参照しながら信号処理回路25の演算処理を説明する。

【0097】この信号処理回路25では、平均化回路24からの電圧E<sub>H</sub>が、H補正手段201に供給されると共に、平均化回路24からの電圧E<sub>B</sub>がB-H補正定数算出手段211に供給される。これらの手段201及び211は、コイル4とコイル5との間の相互誘導による電圧E<sub>H</sub>及び電圧E<sub>B</sub>についての波形補正を行う。

【0098】すなわち、コイル4及びコイル5には、前述したように、コイル2に交番電流Iが流れることにより発生する交番磁界によって起電力が誘起され、これによりそれぞれのコイル4、5に電流が流れる。このため、これらのコイル4及び5間においても、電磁誘導が生じる。この相互誘導のため、電圧E<sub>H</sub>にはコイル4に流れる電流による誘導成分が乗る。

【0099】図11Aは、コイル5により検出される磁界を示し、これは電流Iをコイル2に供給したことにより発生する正弦波状磁界成分301に、コイル4により検出される磁束密度Bに対応した成分302が重畳された状態のものとなる。この成分302は、図11Bの波形303に示す磁束密度Bの検出出力とは逆相であるが、磁束密度Bと相似波形を有している。B-H補正定数算出手段211は、磁束密度Bが成分302に等しい振幅となるようにするための乗算係数K1を平均化出力

18

電圧E<sub>B</sub>から算出し、その乗算係数を磁束密度の検出出力に乘算した値に対応した補正信号C<sub>s</sub>をH補正手段201に供給する。

【0100】値K1は、コイル5の巻き数及びコア51、52の断面積、コイル4の巻き数及び巻回部分の断面積などに基づいて求めることができる。

【0101】H補正手段201では、この補正信号C<sub>s</sub>が電圧E<sub>H</sub>に加算されて、成分302が相殺されて除去される。この結果、H補正手段201からは、図11Cに示すような正弦波状成分301のみからなる電圧E<sub>H1</sub>が得られる。この電圧E<sub>H1</sub>は、平均値算出手段202に供給される。

【0102】この平均値算出手段202は、冒頭で述べたように、コイル2に供給される電流Iは、一般に歪みに伴うオフセットを有するため、電圧E<sub>H1</sub>も、直流オフセットを有するものとなってしまうので、その直流オフセット分を補償するために設けられている。すなわち、平均値算出手段202では、H補正手段201からの電圧E<sub>H1</sub>の直流オフセット電圧ODが算出される。この直流オフセット電圧ODは、図1に示した差動アンプ12の他方の入力端子に供給される。これにより、磁界発生用コイル2に供給される電流Iの直流オフセット分が除去されるようにフィードバック制御がかかる。

【0103】こうして、平均値算出手段202からは、直流オフセットのない正弦波状磁界に応じた出力電圧E<sub>H2</sub>が得られる。この電圧E<sub>H2</sub>は定数乗算手段203に供給され、電圧値から磁界の値(ケスラー)への変換が行われる。

【0104】この定数乗算手段203の出力は、積分手段204に供給され、前述した磁束変化分を積分することにより、磁界Hが求められる。この積分手段204は、図12に示すように、FFT(ファースト・フーリエ・トランスファー)手段2041と、 $1/j\omega$ (ただし、 $\omega = 2\pi f$ )の乗算手段2042と、IFFT(インバートFFT=逆FFT)手段2043とが縦続接続されて構成される。

【0105】この積分手段204の出力信号は、補正曲線算出手段205に供給される。この補正曲線算出手段205は、積分手段204でFFT方式の積分を行う場合には、積分出力の平均値が例えば図13に示すように漸減あるいは漸増するような傾斜を有してしまうので、その傾斜分に対応した低周波数の成分を補正曲線として求めるものである。この補正曲線算出手段205からの補正曲線成分は、減算手段206に供給され、積分手段204の積分出力から減算されて除去され、図14に示すようにされる。

【0106】しかし、図14に示す減算手段206の出力は、漸増あるいは漸減の傾向は除去されたものとなるが、直流オフセットは残留する。この減算手段206の出力中の直流オフセットは、直流キャンセル手段207



において除去される。こうして、この直流キャンセル手段207から試料3の近傍の空間の磁界Hの検出値出力が得られる。

【0107】また、平均値回路24からの電圧EBは、前述したB-H補正定数算出手段211において、コイル5からの誘導による影響を除去した後、定数乗算手段212に供給され、電圧値が磁束変化の単位系の値、すなわち、 $d\phi/dt$ の値に変換された後、積分手段213に供給されて、磁束密度Bが求められる。この積分手段213は、上述の積分手段204と全く同様に、FFT手段と、 $1/j\omega$ の乗算手段と、逆FFT手段とが縦

続接続されて構成される。

【0108】この積分手段213の出力信号は、補正曲線算出手段214に供給され、前述の磁界の検出の場合と同様にして、積分手段213の積分出力の漸減あるいは漸増するような傾斜に対応した低周波数の成分が補正曲線として求められる。そして、この補正曲線算出手段214からの補正曲線成分は、補正曲線算出手段205とは逆極性となっているので、加算手段215に供給され、積分手段213の積分出力に加算されて除去される。さらに、この加算手段215の残留直流オフセットは、直流キャンセル手段216において除去される。こうして、この直流キャンセル手段216から試料3の部分の磁束密度Bの検出値出力が得られる。

【0109】また、平均化回路24からの出力E入からは、磁気ひずみ入が求められる。すなわち、電圧E入は定数乗算手段221に供給されて、前述した光変位計6の校正に対応した定数等が乗算されて、電圧値からひずみ値に変換される。この定数乗算手段221の出力は、デジタルスムージング処理手段222を通じて補正曲線算出手段223に供給されると共に、加算手段224に供給され、さらに、補正曲線算出手段223の出力が加算手段224に供給され、この加算手段224から磁気ひずみ入の検出値出力が得られる。

【0110】そして、直流キャンセル手段207及び216からの磁界H及び磁束密度Bの検出値と、加算手段224からの磁気ひずみ入とが出力装置26に供給される。そして、この出力装置26においては、磁界Hと磁束密度Bとの関係、磁界Hと磁気ひずみ入との関係、磁束密度Bと磁気ひずみ入との関係が、図10に示すように、その一方がX軸、他方がY軸としてCRTディスプレイに表示される。また、磁界H、磁束密度B、ひずみ入の、各値がそれぞれ表示される。さらに、ユーザーの操作などにより、プリンターによりこれらの関係のグラフや、各値が記録紙に出力される。

【0111】図15Aは、求められた磁界Hと、磁束密度Bとを示し、図15Bは、両者の関係を示すいわゆる磁気ヒステリシス曲線である。図16Aは、磁界Hと磁気ひずみ入の波形をそれぞれ示し、図16Bは、両者の関係、つまり磁界-磁気ひずみ(H- $\lambda$ )の関係を示し

ている。図15及び図16は、交番電流として、200Hz、0.6Aの電流を、コイル2に流して、新規な珪素鋼板の磁気ひずみを測定した場合である。

【0112】同様に、図17Aは、磁束密度Bと磁気ひずみ入の波形をそれぞれ示し、図17Bは、両者の関係、つまり磁束密度-磁気ひずみ(B- $\lambda$ )の関係を示している。この図の例では、400Hz、1.12Aの交番電流をコイル2に流している。

【0113】この発明の発明者による、上記の磁性体材料の上記ひずみの測定の結果、この発明によれば、試料が1mであるとき、 $10^{-9}$ mまでの磁気ひずみの測定が可能であることが判明した。

【0114】なお、以上の例は、磁気ひずみ測定装置の場合の実施例であるが、この発明は、界磁コイルにより正弦波状磁界を発生させ、この正弦波状磁界内で種々の磁氣的測定をする場合のすべてに適用可能である。

【0115】

【発明の効果】以上説明したように、この発明においては、磁界発生コイルに交番電流を流して交番磁界を発生し、この交番磁界中に試料を配置して磁気特性を測定する装置において、この交番磁界に応じた電圧を得る磁界検出コイルを設け、この磁界検出コイルに得られる電圧の平均値をオフセットとして、磁界発生コイルに供給する交番電流より除去するようにしたので、常に、正確な交番磁界で測定を行うことができる。

【0116】また、試料近傍の磁界を検出する第2のコイルに、試料を通る磁束密度を検出する第3のコイルから相互誘導される成分を除去した後、この第2のコイルの平均値をオフセットとして第1のコイルに印加する電圧から除去するようにしたので、より正確な磁氣的空間内で試料の磁气的特性を測定することができる。そして、このような正確な交番磁界中において、試料の磁気ひずみを測定するようにしたので、従来より正確で、精細な磁気ひずみ測定をすることができる。

【0117】また、この発明の磁気ひずみ測定装置は、従来の磁気ひずみ測定装置のように、鏡を用いて磁気ひずみを間接的に測定するのではなく、例えば光変位計などを用いて直接的に磁気ひずみを試料の端面の変位として測定するようにした装置であり、この発明の光変位計の直流オフセット除去装置を用いることにより、より高精細に磁気ひずみを測定することができる。

【0118】また、この発明の磁気ひずみ測定装置は、従来の、試料に鏡を張り付ける方法のように、試料に余分なものを付け加えることはしないので、この点でも、より高精度の磁気ひずみの測定が可能になる。

【0119】また、磁性体試料を非磁性体からなる対の板で挟んで保持するようにしたので、磁性体試料自身の位置変動や、測定目的の変位方向以外の変位を制限することができ、この点でも測定精度を向上させることができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明による磁気ひずみ測定装置の一実施例の構成を示す図である。

【図2】この発明による磁気ひずみ測定装置の一実施例の機構部の構成例を示す図である。

【図3】この発明による磁界発生装置の一実施例の要部の構成を説明するための図である。

【図4】図1の例の要部の構成を詳細に説明するための図である。

【図5】図1の例の要部の構成の拡大断面図である。

【図6】この発明の磁気ひずみ測定装置において、測定開始前に磁界発生用コイルに供給する電流の一例を説明するための図である。

【図7】光変位計の出力特性を説明するための図である。

【図8】この発明による光変位計の直流オフセット電圧除去回路の一実施例のブロック図である。

【図9】この発明による磁気ひずみ測定装置の一実施例の各部の出力信号波形の例を示す図である。

【図10】図1の実施例の信号処理回路24の機能ブロック図である。

【図11】図10の動作を説明するための図である。

【図12】図10に用いられる積分手段の構成例を示す図である。

【図13】図10の動作を説明するための図である。

【図14】図10の動作を説明するための図である。

【図15】この発明による磁気ひずみ測定装置で求められた磁界と磁束密度の波形及びその関係の一例を示す図である。

【図16】この発明による磁気ひずみ測定装置で求められた磁界と磁気ひずみの波形及びその関係の一例を示す

図である。

【図17】この発明による磁気ひずみ測定装置で求められた磁束密度と磁気ひずみの波形及びその関係の一例を示す図である。

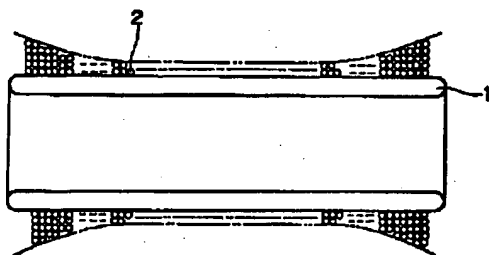
【図18】磁気ひずみの発生メカニズムを説明するための図である。

【図19】従来の磁気ひずみ測定装置の一例を説明するための図である。

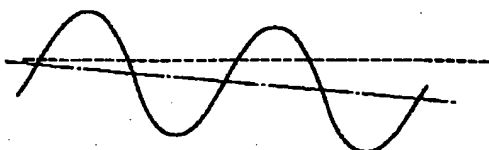
## 【符号の説明】

- |       |             |
|-------|-------------|
| 1     | ガラス管        |
| 2     | 交番磁界発生用のコイル |
| 3     | 磁性体試料       |
| 4     | さぐりコイル      |
| 5     | 補正コイル       |
| 6     | 光変位計        |
| 6a    | 光プローブ       |
| 11    | 交番信号発生器     |
| 12    | オフセット除去用アンプ |
| 13    | トリガ信号発生器    |
| 22    | A/Dコンバータ    |
| 23    | バッファメモリ     |
| 24    | 平均化回路       |
| 25    | 信号処理回路      |
| 30    | 試料保持部材      |
| 41    | ポピン         |
| 31、32 | 非磁性体板       |
| 51、52 | コア          |
| 61    | マイクロメータ     |
| 601   | 減算回路        |
| 602   | 直流電圧弁別回路    |
| 604   | アナログ直流信号発生器 |

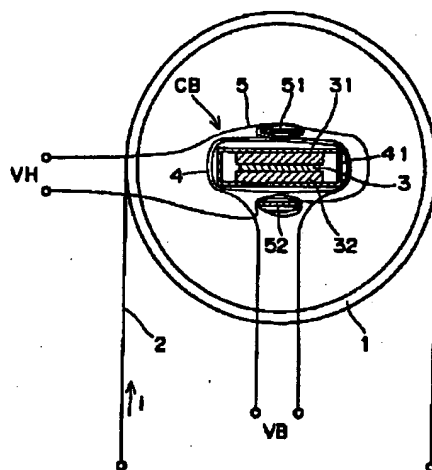
【図3】



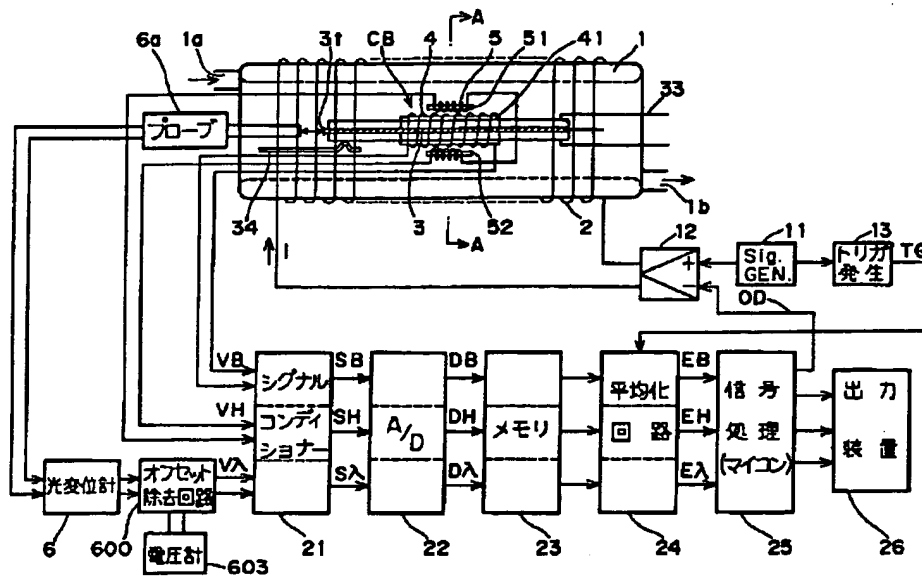
【図13】



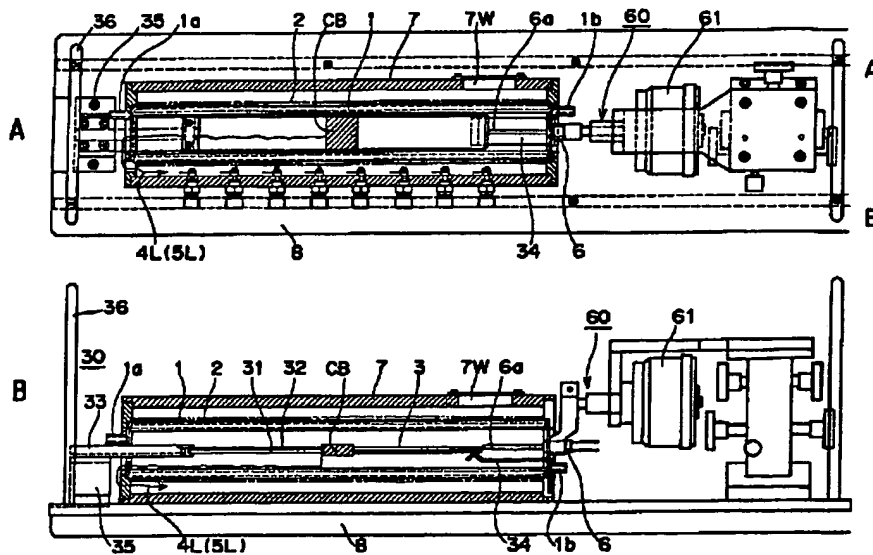
【図4】



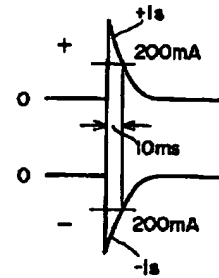
【図1】



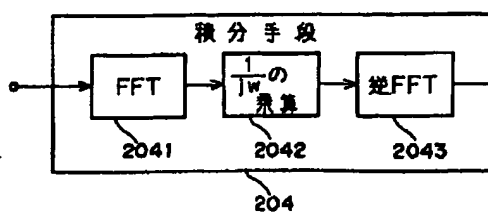
【図2】



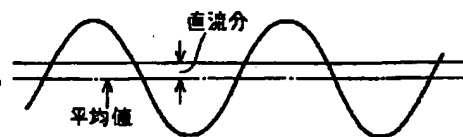
【図6】



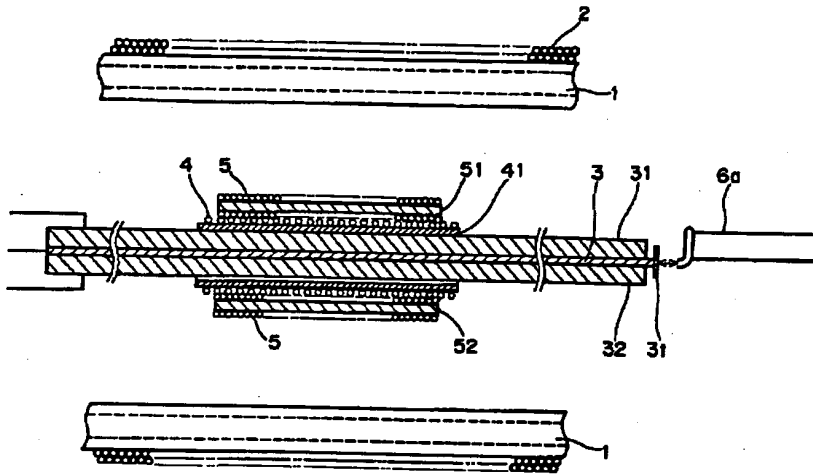
【図12】



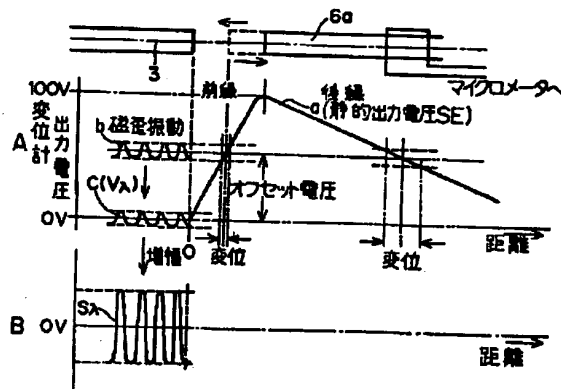
【図14】



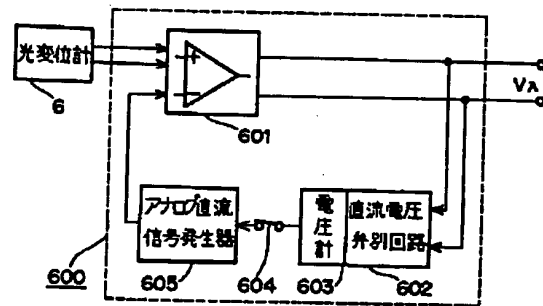
【図5】



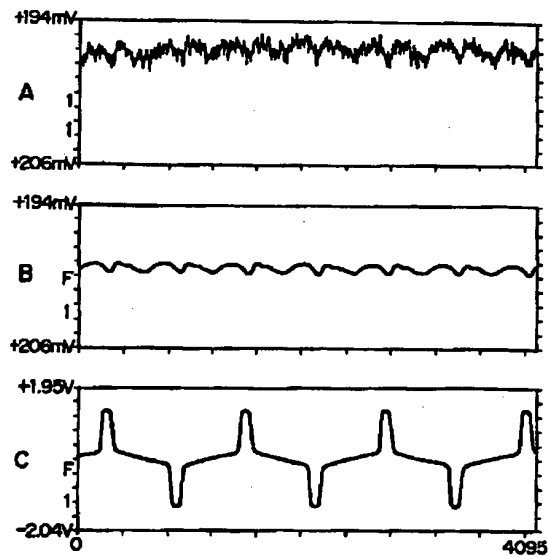
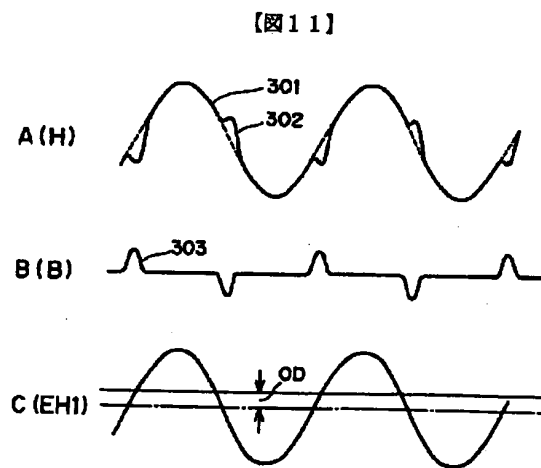
【図7】



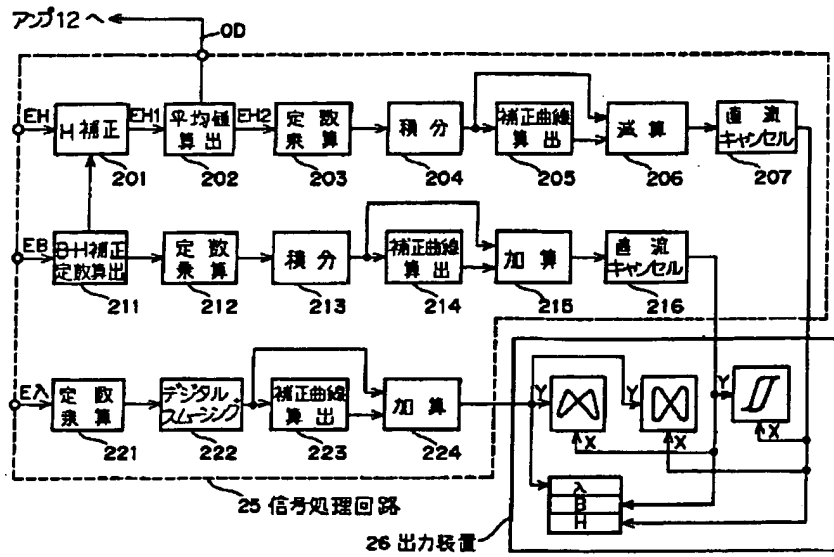
【図8】



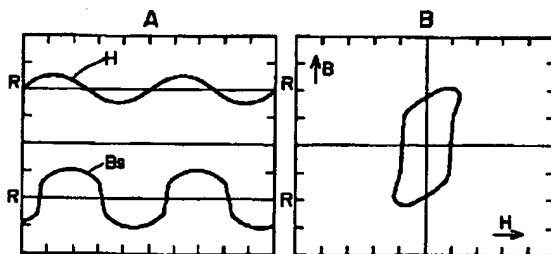
【図9】



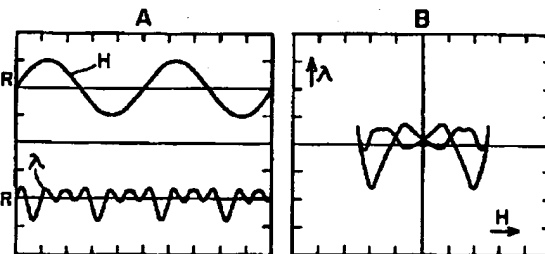
【図10】



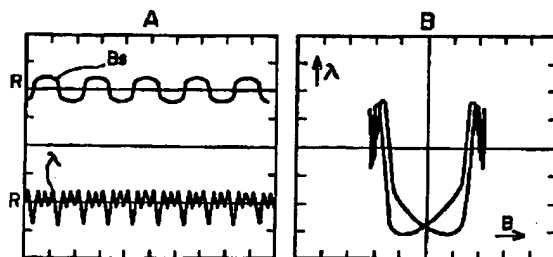
【図15】



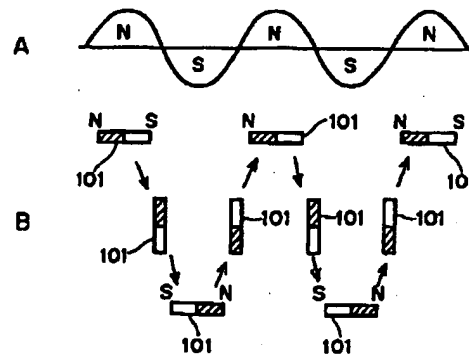
【図16】



【図17】



【図18】



【図19】

